

KONFIGURASI MIMO MC-CDMA PADA KANAL FADING RAYLEIGH (MIMO MC-CDMA CONFIGURATION IN RAYLEIGH FADING CHANNEL)

Gelar Budiman¹, Suhartono Tjondronegoro^{2, 3}

¹Magister Elektro Komunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

Abstrak

Pada penelitian ini dilakukan perancangan konfigurasi sistem MIMO MC-CDMA yang terdiri atas dua skema yaitu skema-1 dan skema-2, dimana kedua skema berbeda dalam hal koneksi atau hubungan antara lengan (rake) subsistem MC-CDMA dengan lengan subsistem MIMO 2x2 dengan STBC. Sistem MIMO MC-CDMA pada kedua skema dirancang meliputi subsistem baseband processing, subsistem MC-CDMA, dan subsistem MIMO 2x2 dengan STBC encoder beserta estimasi kanal oleh STBC decoder. Simulasi sistem dilakukan dengan software Matlab 7.0 pada kondisi kanal AWGN dan kondisi kanal fading terdistribusi Rayleigh i.i.d, baik flat fading maupun frequency selective, dengan asumsi bahwa kanal memiliki sifat quasi static fading. Koefisien kanal sendiri dibangkitkan dengan metode Jakes. Hasil simulasi menunjukkan bahwa baik pada kanal AWGN maupun fading, sistem MIMO MC-CDMA dengan skema-2 memiliki kecenderungan lebih baik dibandingkan skema-1, dan pada kanal fading jumlah lengan yang memberikan kinerja sistem terbaik diberikan oleh jumlah 2 lengan, dengan kata lain kinerja sistem terbaik diberikan oleh perbandingan antara jumlah subcarrier MC-CDMA dengan jumlah SPR pada subsistem MC-CDMA yang menghasilkan nilai 2, sesuai jumlah antenna baik jumlah antenna kirim maupun jumlah antenna terima.

Kata Kunci : Subcarrier, SPR, rake, MC-CDMA, MIMO, STBC, quasi

Abstract

This report presents implementation of MIMO MC-CDMA system configuration in two scheme, scheme-1 and scheme-2, where both schemes are different at the connection between MC-CDMA rakes and STBC MIMO 2x2 rakes. MIMO MC-CDMA system in both schemes consists of baseband processing subsystem, MC-CDMA subsystem, MIMO 2x2 with STBC encoder subsystem and channel estimation by STBC decoder. System simulation was done by Matlab 7.0 in AWGN channel condition and fading channel condition Rayleigh distributed i.i.d, either in flat fading or frequency selective fading, by assumption that channel has quasi static fading characteristic. Channel coefficient is generated by Jakes method. Simulation results show that MIMO MCCDMA system scheme-2 is better than scheme-1 either in AWGN channel condition or in fading channel condition, and number of rakes that gives best performance of the system is two rakes, in other words best performance of the system is given by two value as the result of number of subcarrier division by number of SPR in MC-CDMA subsystem in fading condition, it matches the number of transmit antennas and receive antennas.

Keywords : Subcarrier, SPR, rake, MC-CDMA, MIMO, STBC, quasi

BAB I

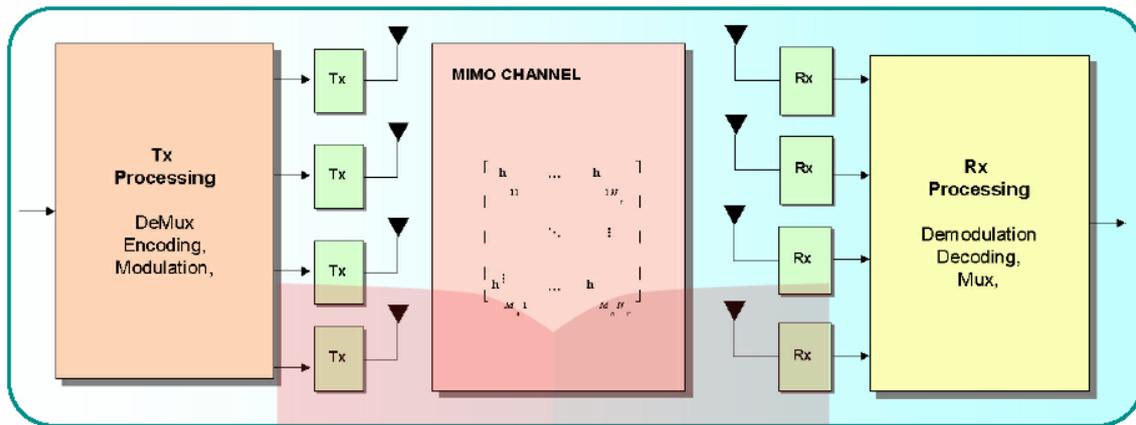
PENDAHULUAN

1. Latar Belakang

Pada beberapa tahun yang akan datang, *Wireless systems* di Indonesia diperkirakan akan membutuhkan sarana komunikasi yang lebih kompleks dari sekarang. Dimana kebutuhan *bandwidth* lebih bervariasi, mulai dari yang sempit (misal untuk komunikasi suara) sampai yang sangat lebar (misal untuk pengiriman gambar/video), dengan kebutuhan kualitas sinyal yang bervariasi pula dan didukung oleh infrastruktur dengan standar dan spesifikasi yang beragam. Untuk memenuhi kebutuhan pelanggan tersebut, dikembangkan/diteliti teknologi yang mendukung. Sejak tahun 1990-an telah mulai diteliti MIMO sistem (*multiple input multiple output*), sistem ini memungkinkan diperoleh penggunaan efisiensi *bandwidth* yang cukup besar, sehingga dapat memenuhi kebutuhan *transmission bandwidth* yang lebar.

Pertumbuhan yang sangat pesat dari *wireless communication* telah menimbulkan peningkatan suatu permintaan *user* pada kapasitas kanal yang menggunakan *bandwidth* terbatas. Respon dari kanal *wireless* berubah-ubah terhadap waktu yang berkaitan dengan terjadinya *multipath fading* dan perubahan macam-macam interferensi pada kanal. Secara khusus sistem *wireless* didesain dengan menggunakan skema modulasi tertentu untuk menghadapi kondisi terburuk yang terjadi pada sinyal informasi sehingga menggunakan mekanisme kontrol daya untuk menyesuaikan dengan perubahan respon kanal.

BAB I : Pendahuluan



Gambar 1 : Konfigurasi MIMO-OFDM secara umum dengan 4 antena pengirim dan 4 antena penerima serta *Tx* dan *Rx Processing* yang terdiri atas blok *DeMux*, *Encoding*, dan Modulasi [6].

Salah satu masalah dalam komunikasi wireless adalah adanya fenomena *multipath fading*. Efek *multipath* disebabkan oleh lingkungan kanal propagasi. Sinyal yang diterima oleh penerima merupakan penjumlahan dari sinyal langsung dan sejumlah sinyal terpantul dari berbagai objek. *Multipath* didefinisikan sebagai lintasan jamak dari sinyal informasi yang dikirimkan karena perbedaan jarak tempuh masing-masing sinyal yang dikirimkan sehingga dapat menyebabkan perbedaan fasa antara sinyal langsung dan sinyal tidak langsung. Sedangkan *fading* adalah fluktuasi level daya terima akibat perubahan kondisi kanal.

2. Perumusan Masalah

Wireless MC-CDMA - MIMO system ini memerlukan konfigurasi sistem yang kompleks, karena untuk memenuhi prediksi kebutuhan

BAB I : Pendahuluan

Pelanggan, sistem ini perlu didukung beberapa teknologi *wireless system* sebagai berikut :

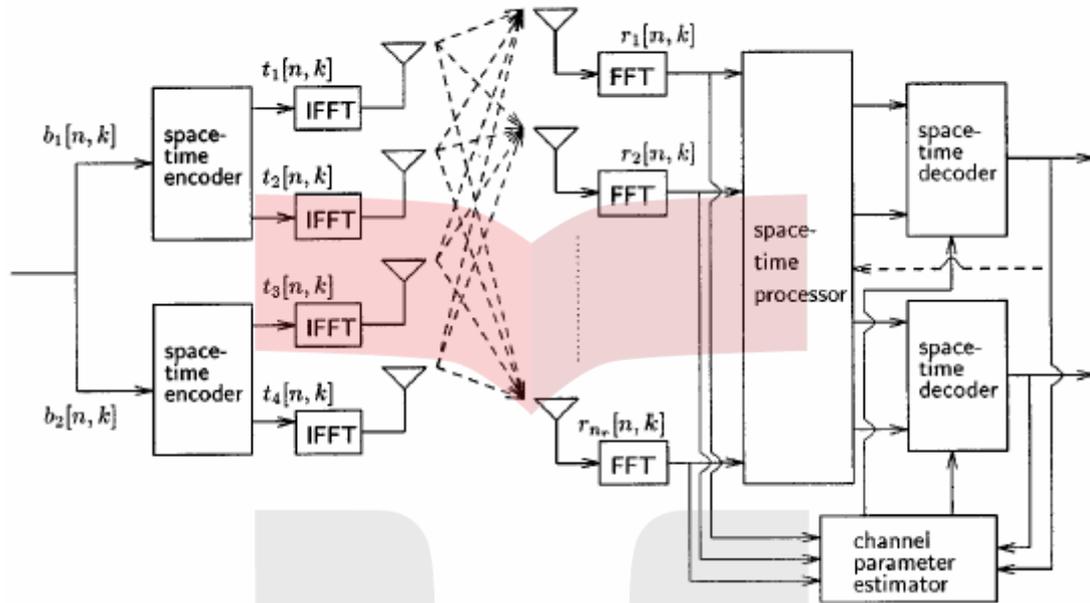
- *Advanced antenna technologies*, antara lain dengan penerapan *smart antenna* yang dikembangkan dari *antenna arrays*, dimana jenis antenna ini telah digunakan pada sebagian *wireless systems* generasi ke 2.
- *Adaptive and reconfigurable systems, software defined radio*, yang memungkinkan untuk mendekati *Shannon capacity*, yaitu dengan cara menerapkan sistem modulasi, *coding*, power control dan lain-lain pada kondisi kanal radio, kebutuhan kualitas sinyal maupun *transmission rate* yang bervariasi.
- *Wireless access technologies*, dimana tendensi penggunaan sistem akses yang akan datang adalah penggunaan OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*) dan MC-CDMA (*Multiple Carrier Code Division Multiple Access*) yang memungkinkan melayani pelanggan dengan kebutuhan *bandwidth* yang tinggi, dengan penggunaan spektrum frekuensi yang efisien dan dapat melayani layanan-layanan baru yang ditawarkan oleh berbagai operator.

Perancangan dan analisis sistem MC-CDMA-MIMO yang akan dilakukan pada penelitian ini terfokus pada beberapa hal antara lain :

1. Bagaimana menentukan sistem modulasi yang efektif dan efisien.
2. Bagaimana merancang sistem pengkodean berbasis *space-time coding* agar *bandwidth* yang dialokasikan lebih sempit, kapasitas sistem bertambah namun kualitas sinyal terima dapat lebih baik.
3. Bagaimana merancang sistem estimasi yang dapat memprediksi kondisi kanal sehingga hasil prediksi kondisi kanal digunakan untuk memperbaiki sinyal terima (BER rendah) dan menentukan sistem

BAB I : Pendahuluan

pengambil keputusan (*decision subsystem*) untuk modulasi di bagian pengirim dan pengkodean di bagian penerima.



Gambar 2 : Konfigurasi MIMO-OFDM dengan 4 antenna pengirim dan n antenna penerima [5], dilengkapi dengan estimator parameter kanal yang diperlukan oleh dekoder *space-time* untuk mendeteksi sinyal terima ke dalam format sebelum dilakukan pengkodean *space-time* ($b_1[n,k]$ dan $b_2[n,k]$).

Kanal yang memiliki sifat berubah terhadap waktu (*time varying*) dapat diestimasi dengan sistem estimasi yang merupakan sistem predictor kanal, sehingga kondisi kanal dapat terpantau atau dapat diketahui dengan pendekatan algoritma prediksi kanal pada sistem estimasi. Setelah kondisi kanal diketahui, maka hasilnya akan dikirim ke blok *system decision* untuk menentukan jenis modulasi apa yang cocok dengan kondisi kanal tersebut dan untuk memperbaiki sinyal terima. Akhirnya *system decision* dengan *feedback* mengirimkan kembali informasi jenis modulasi yang cocok tadi ke blok pengirim dengan mengirimkan sinyal ke penerima.

BAB I : Pendahuluan

3. Tujuan & Kegunaan

3.1 Tujuan

Penelitian yang akan dikerjakan ini memiliki tujuan antara lain :

1. Merancang dan menganalisis unjuk kerja bagian modulasi pada sistem MIMO-MC-CDMA dengan menggunakan perangkat lunak Matlab.
2. Merancang dan menganalisis unjuk kerja bagian pengkodean waktu ruang (*Space Time Coding*) dengan melakukan pengujian sistem MIMO-MC-CDMA.
3. Merancang dan menganalisis sistem estimasi kanal pada sistem MIMO-MC-CDMA pada kanal fading Rayleigh baik pada kondisi kanal yang tidak diketahui maupun pada kondisi kanal yang diketahui oleh *transmitter*.
4. Menganalisis unjuk kerja (kapasitas, kualitas, dan sistem MIMO-MC-CDMA setiap subsistem dengan melakukan pengubahan jumlah antena input dan antena output.
5. Merancang dan menganalisis perbaikan sinyal terima pada sistem MIMO-MC-CDMA agar tercapai BER yang rendah.

3.2 Kegunaan

Kegunaan dari penelitian tentang konfigurasi MIMO MC-CDMA sebagai judul thesis ini adalah sebagai salah satu syarat/mekanisme untuk kelulusan mahasiswa pada obyek/mata kuliah thesis yang mana obyek thesis sendiri merupakan salah satu syarat untuk kelulusan program magister.

BAB I : Pendahuluan

4. Hipotesis

Pada beberapa tahun yang akan datang, *wireless systems* di Indonesia diperkirakan akan membutuhkan sarana komunikasi yang lebih kompleks dari sekarang. Untuk memenuhi kebutuhan pelanggan tersebut, dikembangkan/diteliti teknologi yang mendukung, dimana sejak tahun 1990-an telah mulai diteliti sistem MIMO (*multiple input multiple output*), sistem ini memungkinkan diperoleh penggunaan efisiensi *bandwidth* yang cukup besar, sehingga dapat memenuhi kebutuhan *transmission bandwidth* yang lebar. Sistem MIMO MC-CDMA ini memerlukan konfigurasi sistem yang kompleks, karena untuk memenuhi prediksi kebutuhan pelanggan, salah satu teknologi *wireless systems* yang diperlukan untuk mendukung sistem ini adalah *adaptive and reconfigurable systems*, yang memungkinkan penerapan *shannon capacity*, yaitu dengan cara menerapkan sistem modulasi, *coding*, *power control* dan lain-lain pada kondisi kanal radio, kebutuhan kualitas sinyal maupun kecepatan transmisi yang bervariasi.

Parameter keberhasilan dari perancangan konfigurasi sistem MIMO MC-CDMA diantaranya adalah adanya sistem modulasi yang efektif dan efisien, adanya sistem pengkodean berbasis *space-time coding*, serta adanya sistem estimasi yang dapat memprediksi kondisi kanal sehingga hasil estimasi dapat digunakan untuk menentukan sistem pengambil keputusan (*decision subsystem*) pada modulasi di bagian pengirim dan pengkodean di bagian penerima. Diduga dengan konfigurasi tersebut akan dihasilkan suatu sistem telekomunikasi nirkabel yang mengalokasikan *bandwidth* yang lebih sempit, kapasitas sistem bertambah, namun kualitas sinyal terima dapat lebih baik dilihat dari BER yang makin kecil.

BAB I : Pendahuluan

5. Pembatasan Masalah

Penelitian yang akan dibuat ini akan membahas konfigurasi *wireless systems* untuk *4th Generation Wireless*, agar dapat melayani kebutuhan pelanggan akan kebutuhan bandwidth yang sangat lebar dengan berfokus pada sistem MIMO-MC-CDMA layer fisik baik pada kondisi kanal radio yang diketahui oleh *transmitter*. Dan juga akan dilakukan analisis baik secara teoritis maupun dari hasil simulasi dengan Matlab mengenai unjuk kerja sistem MIMO-MC-CDMA dengan melakukan analisis per subsistem. Parameter yang menjadi sarana analisis pada penelitian ini adalah perubahan jumlah antena pengirim dan penerima, kapasitas sistem, kualitas sinyal yang diterima dari sistem MIMO-MC-CDMA, dan *bandwidth* yang diperlukan sistem MIMO-MC-CDMA.

Hal-hal yang akan menjadi pembatasan masalah pada topik thesis yang penulis ambil antara lain sebagai berikut :

1. Perancangan sistem MIMO-MC-CDMA dilakukan dengan perangkat lunak Matlab 7 berbasiskan *m-files*.
2. Perancangan sistem MIMO-MC-CDMA hanya dibatasi pada layer fisik.
3. Perancangan simulasi sistem MIMO-MC-CDMA yang dibuat, dilakukan dengan tahapan-tahapan yang berkesinambungan dan terintegrasi, dengan membuat sebuah subsistem yang kemudian dilengkapi dengan subsistem lain yang mendukung MIMO-MC-CDMA.
4. Pada penelitian ini tidak dibahas pengaruh jumlah *user* terhadap sistem karena jumlah *user* yang diterapkan hanya 1 *user* saja.

BAB I : Pendahuluan

5. Penelitian ini membahas kondisi kanal yang diketahui oleh *transmitter*.
6. Pemodelan kanal pada penelitian ini dibatasi pada kanal *multipath fading* terdistribusi Rayleigh dengan metode Jakes.
7. Pada penelitian ini tidak disertakan kontrol daya sebagai salah satu subsistem yang mendukung sistem MIMO-MC-CDMA.
8. Sinkronisasi fasa pada penerima diasumsikan sempurna dan *delay* simbol antar antena diasumsikan nol.
9. Skema modulasi yang dirancang dibatasi pada 3 jenis modulasi antara lain : BPSK dan QPSK.
10. Analisis yang dilakukan adalah mengukur unjuk kerja sistem berdasarkan performansi kapasitas (dengan ukuran semakin besar kapasitasnya maka semakin baik performansi kapasitasnya) dan kualitas (dengan ukuran semakin rendah BER pada sinyal terima maka semakin baik performansi kualitasnya) setiap subsistem yang dirancang pada keadaan dimana subsistem lainnya dianggap tetap kualitasnya dan pada data masukan yang berubah-ubah serta keadaan kanal yang berubah-ubah.

6. Metode Penelitian

1. Melakukan studi literatur dengan mempelajari permasalahan yang berkaitan dengan sistem MIMO MC-CDMA khususnya terkait dengan sistem modulasi, sistem pengkodean dan sistem estimasi kanal.

BAB I : Pendahuluan

2. Merancang sistem MIMO MC-CDMA yang akan bekerja pada kanal fading datar yang terdistribusi Rayleigh.
3. Penelitian dilakukan dengan bentuk simulasi program dengan menggunakan *software* Matlab 7 yang memungkinkan peneliti memanipulasi variabel-variabel input dan meneliti akibatnya terhadap kinerja sistem MIMO MC-CDMA.
4. Pengambilan data dilakukan dari hasil pengujian simulasi dengan pengubahan data pada subsistem MIMO MC-CDMA yang tetap untuk dilakukan analisis unjuk kerja subsistem.
5. Pengumpulan data-data penunjang diperoleh dari hasil simulasi yang dilakukan dan dari data-data yang diperoleh dari paper yang tersebut pada daftar pustaka.



BAB I : Pendahuluan

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Penelitian tentang konfigurasi MIMO MC-CDMA dengan jumlah antena kirim 2 dan jumlah antena terima 2 dan pengkodean MIMO STBC menghasilkan beberapa kesimpulan umum sebagai berikut :

1. Secara umum kinerja sistem MIMO MC-CDMA baik skema-1 maupun skema-2 dari aspek kualitas sinyal terima jauh lebih baik dari sistem MC-CDMA dan sistem MIMO secara terpisah dengan tingkat perbaikan dalam SNR mencapai lebih dari 10 dB pada jenis *mapper* BPSK.
2. Kinerja sistem MIMO MC-CDMA dengan BPSK *mapper* dari sisi kualitas sinyal terima lebih baik sekitar 3 dB dari sistem yang sama dengan QPSK *mapper*.
3. Kinerja sistem MIMO MC-CDMA dengan *encoder* dan *interleaver* lebih baik dari sistem yang sama tanpa salah satu dari keduanya dan jauh lebih baik dari sistem yang sama tanpa keduanya dengan peningkatan kinerja lebih besar dari 2 dB.
4. Kinerja sistem MIMO MC-CDMA mengalami penurunan ketika estimasi kanal dilakukan di penerima, penurunan terjadi pada kisaran 4 dB sampai 6 dB.
5. Kinerja sistem MIMO MC-CDMA akan makin berkurang ketika posisi sinyal pilot diletakkan pada perioda paket yang lebih besar, karena kondisi kanal yang semakin berfluktuatif sementara koefisien kanal yang digunakan dalam keadaan tetap

sepanjang belum ada estimasi kanal lagi. Kinerja sistem MIMO MC-CDMA skema-2 lebih baik dalam ketahanannya terhadap kondisi kanal dibandingkan skema-1.

6. Kecepatan *user* tidak terlalu mempengaruhi kinerja sistem MIMO MC-CDMA pada panjang paket 2 ms. Pada kecepatan *user* 43.2 km/jam dan 2.7 km/jam hasil simulasi menunjukkan bahwa kinerja sistem MIMO MC-CDMA baik skema-1 maupun skema-2 hampir sama.
7. Sistem MIMO MC-CDMA memiliki karakteristik yang sama dengan MC-CDMA dalam hal memperlakukan kanal *frequency selective fading* menjadi seolah-olah kanal *flat fading*. Hasil simulasi menunjukkan bahwa kinerja sistem MIMO MC-CDMA baik pada kanal *frequency selective fading* maupun kanal *flat fading* memiliki *trend* yang sama.
8. Panjang *cyclic prefix* sebagai *guard interval* sedikit mempengaruhi kinerja MIMO MC-CDMA, semakin panjang *cyclic prefix* semakin baik kinerja sistem. Hasil simulasi menunjukkan bahwa panjang *cyclic prefix* 3.2 μ s memiliki kisaran perbaikan BER pada sistem kurang lebih 1 dB dibandingkan panjang *cyclic prefix* 0.8 μ s dan 0 μ s, pada *delay spread* yang tetap.
9. Daya pilot memiliki pengaruh terhadap hasil estimasi kanal, semakin tinggi daya pilot kinerja sistem semakin berkurang karena interferensi antara simbol dan pilot membesar dengan besarnya daya pilot. Semakin rendah daya pilot, kinerja sistem semakin berkurang karena faktor perbandingan yang semakin berkurang pada perhitungan estimasi kanal. Hasil simulasi

Telkom
University

menunjukkan bahwa daya sinyal pilot membuat sistem memiliki kinerja maksimal pada daya 0.6 dBw dibandingkan daya 0 dBw dan 0.9 dBw.

10. Pada kondisi kanal AWGN, penurunan jumlah SPR atau peningkatan jumlah lengan pada jumlah *subcarrier* yang tetap menghasilkan kinerja yang cenderung lebih baik, sebaliknya pada kondisi kanal fading, kondisi yang sama menghasilkan kinerja yang terbaik pada jumlah lengan yang sedikit, yaitu jumlah lengan 1 dan 2.
11. Peningkatan jumlah lengan pada jumlah SPR tetap dalam kondisi kanal AWGN menghasilkan kinerja sistem MIMO MC-CDMA yang lebih baik. Sementara pada kondisi kanal fading, kondisi yang sama menghasilkan kinerja terbaik pada jumlah lengan 2 dan jumlah lengan 1.
12. Pada kondisi kanal AWGN peningkatan jumlah SPR pada jumlah lengan yang tetap menghasilkan kinerja yang cenderung terbaik pada jumlah SPR = 8, sementara pada kondisi kanal fading kondisi yang sama menghasilkan kinerja yang cenderung terbaik pada jumlah SPR = 16 dan 32.
13. Baik pada kondisi kanal AWGN maupun fading, kinerja sistem MIMO MC-CDMA skema-2 memiliki kecenderungan lebih baik dibandingkan sistem MIMO MC-CDMA skema-1.

5.2 Saran

1. Pada penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan analisis sistem ditinjau dari kapasitas sistem, sehingga dapat

dilakukan analisis kinerja sistem yang diukur baik dari kualitas maupun kapasitas sistem.

2. Pada penelitian selanjutnya diharapkan dapat mengembangkan sistem untuk jumlah antena baik antena kirim maupun antena terima lebih dari 2 sehingga analisis yang dilakukan menjadi lebih menyeluruh terhadap sistem MIMO.
3. Disarankan jenis *encoder* dan modulasi yang diterapkan untuk penelitian ini dikembangkan dengan jenis *encoder* dan modulasi yang lebih baik dengan kualitas yang baik namun dengan *code rate* yang besar.
4. Disarankan jenis pengkodean MIMO pada penelitian selanjutnya lebih memiliki kinerja yang baik dalam hal estimasi kanal.
5. Pada penelitian selanjutnya disarankan untuk menganalisis pengaruh jumlah *user* terhadap sistem sehingga pengukuran kinerja selain dalam kualitas dapat dilakukan secara kapasitas.

DAFTAR PUSTAKA

1. J. Proakis, "*Digital Communications*", McGraw Hill, 3rd., 1995.
2. Proakis John G., Salehi Masoud, "*Communication System Engineering*", Prentice Hall, 1994
3. Theodore S. Rappaport, "*Wireless Communications*", Prentice Hall, 2002
4. Proakis John G., Manolakis Dimitris G., "*Digital Signal Processing: Principles, Algorithms, and Applications*", Prentice Hall, 1996.
5. David Gesbert, Mansoor Shafi, Da-Shan Shiu, Peter J. Smith, Ayman Naguib, "*From Theory to Practice : An Overview of MIMO Space-Time Coded Wireless Systems*", Tutorial Paper, IEEE Journal On Selected Areas In Communication Vol. 21, No.3 April 2003, Oslo University, Norway.
6. Rick S. Blum, Ye (Geoffrey) Li, Jack H. Winters, and Qing Yan, "*Improved Space-Time Coding for MIMO-OFDM Wireless Communications*", IEEE TRANSACTIONS ON COMMUNICATIONS, VOL. 49, NO. 11, NOVEMBER 2001.
7. Roke Manor Research, "*4G Wireless Technology an Introduction*", A Siemens Company, UK, 2002.
8. Keller, Thomas and L. Hanzo, "*Adaptive Modulation Techniques for Duplex OFDM Transmission*", IEEE Trans. on Veh. Tech., Vol. 49, No. 5, September 2000.
9. Haykin, Simon, "*Communication System*", Prentice Hall, 1998
10. Manolakis, Dimitris G., "*Statistical and Adaptive Signal Processing*", Prentice Hall, 2001

11. Fonollosal, Javier R, “*Adaptive Modulation schemes for MIMO HSDPA*”, Universitat Politècnica de Catalunya, 2004.
12. Ayman F. Naguib, Vahid Tarokh, Nambi Seshadri, and A. R. Calderban, “*Space-Time Coding And Signal Processing For High Data Rate Wireless Communications*”, AT&T Labs Research, Florham Park, 1998.
13. Richard van Nee, Ramjee Prasad, “*OFDM for Wireless Multimedia Communications*”, Artech House, Boston, London, 2000.
14. V. Tarokh, N. Seshadri, and A. R. Calderbank, “*Space-time coding for high data rate wireless communication : performance criteria and code construction,*” *IEEE Trans, Inform, Theory*, Mar. 1998.
15. Alamouti SM, “*A Simple Transmit Diversity Technique for Wireless Communication*”, *IEEE Journal on Selected Areas in Communication*, vol 16 No.8, October 1998.
16. Ayman F. Naguib, Vahid Tarokh, Nambirajan Seshadri and A.R. Calderbank, “*Space-Time Coding Modem for High Data Rate Wireless Communication*”, *IEEE Journal on Selected Areas in Communication*, Vol. 16, No. 8, October 1998.
17. Shu Lin, Daniel J. Costello Jr, “*Error Correcting Codes*”, New Jersey : Prentice-Hall, 1983.
18. Bernard Sklar, “*Digital Communications, Fundamental and Applications*”, New Jersey : Prentice-Hall, 1988.
19. Hesham M. Al-Salman and Saud A. Al-Semari “*Distance Properties of Space-Time Trellis Codes*” *Electrical Engineering Department King Fahd University of Petroleum & Minerals.*
20. E. Telatar, “*Capacity of multiantenna Gaussian channels*”, AT&T Bell Laboratories, Tech. Memo., June 1995.

21. G. J. Foschini and M. J. Gans, “*On limits of wireless communications in a fading environment when using multiple antennas*”, *Wireless Pers. Commun.*, vol. 6, pp. 311–335, Mar. 1998.
22. Volker Kühn Dr. Ing. “*Advanced Topics in Digital Communications*”, Institute for Telecommunications and High-Frequency Techniques Department of Communications Engineering.
23. Hara, Shinsuke and Prasad, Ramjee, “*Overview Of Multicarrier CDMA*”, *IEEE Communications Magazine* pp. 126-133, December 1997.
24. Valenti, M.C, and Baker, D.A, “*The Impact of Channel Estimation Errors on Space-Time Block Codes*”, *Wireless Communications Research, Lab West Virginia University*, 2004.
25. Albert Lee, P.J. McLane, “*Convolutionally Interleaved PSK and DPSK Trellis Codes for Shadowed, Fast Fading Mobile Satellite Communication Channels*”, *Departement of Electrical Engineering, Quenn’s University, Kingston, Ontario*, 1988.
26. Peter Hoeher. “*TCM on Frequency-Selective Land-Mobile Fading Channels*”, *German Aerospace Research Establishment, Institute for Communication Technology, D-8031 Oberpfaffenhofen, Germany*.
27. Ezio Biglieri, Dariush Divsalar, Peter J McLane, dan Marvin K Simon., “*Introduction to Trellis-Coded Modulation with Application*,” *Macmillan, New York*. 1991.

28. Shu Lin, Daniel J Costello Jr., “ *Error Control Coding : Fundamental and Application.* “, Prentice Hall. Englewood Cliffs. 1983.
29. Omura, J.K., “*On the Viterbi Decoding Algorithm*” (correspondence), IEEE Trans.Inf.Theory, vol IT15, Januari 1969, pp. 177-179.
30. P.J.McLane and Albert Lee, “*Convolutionally Interleaved PSK and DPSK Trellis Codes for Shadowed, Fast Fading Mobile Satellite Communication Channels*”, Queen’s University, Department of Electrical Engineering, Kingston, Ontario, 1988.
31. Karen Su, “*Space Time Coding: From Fundamental To The Future*”, University of Cambridge, 2003.
32. Kritsada Chongcharoensrisiri, “*Sequential Decoding of GMSK in a Rayleigh Fading Channel*”, Asian Institute of Technology, Thailand, 1997.
33. Rohde, Ulrich L., and Jerry C. Whitaker, “*Communications Receivers : Principles and Design*”, 3rd ed., McGraw-Hill, New York, N.Y., 2000.
34. Chengshan Xiao, “*Rayleigh Channel Fading Simulator : Problem and Solutions*”, Dept. of Electrical and Computer Engineering, University of Missouri-Columbia, USA, 2001.
35. Vijaya Chandran Ramasami, “*BER Performance of Baseband Binary Transmission*”, EECS 862 Project, 2001.
36. Dieter Schafhuber, “*MIMO-OFDM Systems*”, Institute of Radio Communications and Radio-Frequency Engineering, Vienna University of Technology, 2004.

37. Jafarkhani, Hamid, "A *Quasi-Orthogonal Space Time Block Code*", IEEE Transactions On Communications Letter, Vol. 49, No. 1, January 2001.
38. Madkour, Mohamed F., "Successive Interference Cancellation Algorithms for Downlink W-CDMA Communications", IEEE Transactions On Wireless Communications, Vol. 1, No. 1, January 2002.
39. Bernard Sklar, "Rayleigh Fading Channels in Mobile Digital Communication Systems Part I : Characterization", IEEE Communication Magazine page 90-100, July 1997.

